



ANALISA KUAT TEKAN MORTAR BETON *FLY ASH* DARI INDUSTRI PLTU TANJUNG JATI B JEPARA DENGAN MENGUNAKAN PASIR SUNGAI TEMPUR KABUPATEN JEPARA

Mochammad Qomaruddin¹⁾, Ariyanto¹⁾, Yayan Adi Saputro¹⁾, Sudarno²⁾

1) Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara, Jln. Taman Siswa
(Pekeng) Tahunan Jepara; Telp. 0291-595320.

2) Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Surel: gomar@unisnu.ac.id

Abstract. PLTU Tanjung Jati B Jepara is one of the companies engaged in power plants that have a big role to the progress in various sectors. Things to note is the waste generated by the power plant, one of B3 waste produced is fly ash and bottom ash. Each type of coal burned must have different behaviors. Waste generated will be able to provide great benefits if able to process it into a useful product for the community. The stages to be carried out in this research are: preparation of materials and tools, testing materials compiler, manufacture of specimens, test object testing, data analysis and discussion, and conclusions and suggestions. Each test objects mixture will be tested at three days, seven days, 14 days and 28 days. The result of fine aggregate sieve analysis on combat sand obtained Modulus of Smoothness of Grain (FM) of 3,805 belonged to very coarse grain category. From the experiment with design mix that has been determined, the addition of fly ash from PLTU Tanjung Jati B Jepara which produces the highest compressing mortar strength is the percentage of Addition of 20% to 30%. Highest mortar compressing strength was achieved on 80% cement mix with 20% of fly ash of 8.63 MPa and 70% cement mix with 30% of fly ash of 8.57 MPa. While having the lowest compressing strength on cement mixture 50% with fly ash 50% equal to 5.05 MPa. The percentage of fly ash > 30% successively yields lower compressing strength.

Keyword : fly ash, Tempur's sand, mortar, compressive strength

Abstrak. PLTU Tanjung Jati B Jepara merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang pembangkit listrik yang memiliki peran besar terhadap kemajuan diberbagai sektor. Hal yang perlu diperhatikan adalah limbah yang dihasilkan oleh PLTU tersebut, salah satu limbah B3 yang dihasilkan adalah *fly ash* dan *bottom ash*. Setiap jenis batu bara yang dibakar pasti memiliki perilaku yang berbeda. Limbah yang dihasilkan akan dapat memberi kemanfaatan yang besar apabila mampu mengolahnya menjadi suatu produk yang berguna bagi masyarakat. Adapun tahapan yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini adalah: persiapan bahan dan alat, pengujian bahan penyusun, pembuatan benda uji, pengujian benda uji, analisis data dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Masing-masing campuran benda uji akan diuji pada umur tiga hari, tujuh hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil dari pengujian analisa saringan agregat halus pada pasir tempur diperoleh Modulus Kehalusan Butiran (FM) sebesar 3,805 tergolong kategori butiran yang sangat kasar. Dari percobaan dengan mix design yang telah ditentukan, diperoleh penambahan *fly ash* dari PLTU Tanjung Jati B Jepara yang menghasilkan kuat tekan mortar tertinggi adalah prosentase Penambahan 20% sampai 30%. Didapat kuat tekan mortar rata-rata yang tertinggi pada campuran semen 80% dengan *fly ash* 20% sebesar 8,63 MPa dan campuran semen 70% dengan *fly ash* 30% sebesar 8,57 MPa. Sedangkan yang memiliki kuat tekan terendah pada campuran semen 50% dengan *fly ash* 50% sebesar 5,05 MPa. Prosentasi fly ash >30% berturut-turut menghasilkan kuat tekan lebih rendah.

Kata kunci : fly ash, pasir Tempur, mortar, kuat tekan.

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di berbagai sendi kehidupan mampu memberi pengaruh besar terhadap keberlangsungan hidup manusia. Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi besar untuk mengembangkan sumber daya alam, namun kenyataannya perkembangan di Indonesia masih dipengaruhi oleh pihak luar yang memiliki sumber daya manusia yang lebih kuat. Perkembangan harus diimbangi dengan pengetahuan yang memadai, sehingga tujuan yang akan dicapai dapat terpenuhi. Misalnya dalam upaya untuk mengurangi limbah yang dihasilkan oleh industri, maka perlu adanya studi yang relevan dengan permasalahan ada.

Bidang konstruksi merupakan salah satu yang harus dikembangkan, karena memiliki peran sebagai penunjang kebutuhan masyarakat yang semakin kompleks. Beton merupakan salah satu bahan yang sering digunakan dalam melaksanakan pekerjaan konstruksi, namun dalam pembuatan beton harus memikirkan efektifitas dan efisiensi. Salah satu upaya

untuk mengurangi efisiensi adalah dengan cara memanfaatkan bahan pendukung yang lebih efektif.

PLTU Tanjung Jati B Jepara memiliki peran besar terhadap kemajuan diberbagai sektor. Hal yang perlu diperhatikan adalah limbah yang dihasilkan oleh PLTU tersebut, salah satu limbah B3 yang dihasilkan adalah *fly ash* dan *bottom ash* dari hasil pembakaran batu bara. Limbah yang dihasilkan akan dapat memberi kemanfaatan yang besar apabila mampu mengolahnya menjadi suatu produk yang berguna bagi masyarakat.

Setiap jenis batu bara yang dibakar pasti memiliki perilaku yang berbeda termasuk yang ada di PLTU Tanjung Jati B Jepara. Sebagai upaya untuk mengurangi limbah *fly ash*, maka penelitian ini membuat mortar dengan campuran *fly ash* untuk mengetahui tingkat kekuatan dan daya ikat *fly ash* tersebut dengan pemanfaatan sumber daya alam berupa pasir ex.sungai tempur di Kabupaten Jepara.

Ada beberapa perilaku yang dilakukan peneliti tentang *fly ash* untuk beton. *Fly ash* juga membutuhkan material pengikat sehingga *fly ash* dapat digunakan untuk menggantikan pasir cetak (Ash, 2007). *Fly Ash* PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia, Tbk, sebagai bahan campuran

pembuatan paving block yang aman bagi lingkungan adalah 10% dari total berat semen dalam campuran (Ash, Pabrik, & Tjiwi, n.d.). semakin besar kadar *fly ash*, maka semakin besar kuat tekannya, namun sampai dengan kadar 15% kuat tekan beton semakin kecil. (Strength, Containing, Superplastisizer, Ash, & Sni, 2010). Selain itu terkait mortar beton juga sangat beragam diantaranya, Penggunaan mortar mutu tinggi sebagai bahan perkuatan beton sangat layak dengan pertimbangan bahwa mortar memiliki keunggulan dalam hal pengerjaannya dan bahannya tersedia melimpah di semua wilayah Indonesia (Amir, n.d.).

2. METODE

Bahan dan Alat

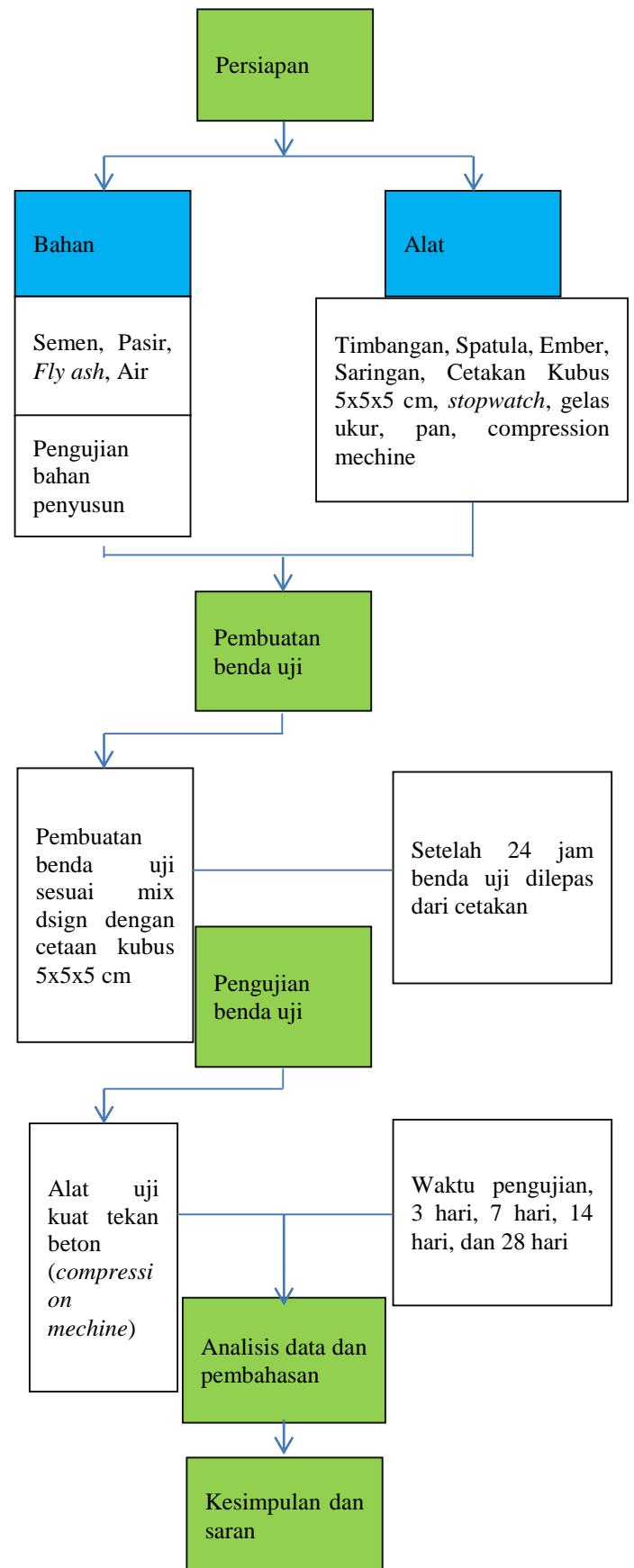
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Semen
semen Portland tipe-1 (merk Tiga Roda).
- Agregat halus adalah pasir yang berasal dari sungai di desa tempur yang lolos saringan yang berukuran 4,76 mm
- Fly Ash*
Fly Ash yang digunakan merupakan hasil pembakaran batu bara dari PLTU Tanjung Jati B Jepara yang lolos saringan ukuran 0,6 mm
- Air
Air yang digunakan dalam proses pencampuran mortar adalah air dari Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi UNISNU Jepara.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Timbangan Ohaus dengan ketelitian 0,01 gram
- Spatula
- Ember
- Saringan Ukuran 9.52 cm, 4.76 cm, 2.36 cm, 1.18 cm, 0.6 cm, 0.25 cm, 0.15 cm, 0,074 cm, 0 cm
- Cetakan Kubus 5x5x5 cm
- Stopwatch*
- Gelas ukur
- Pan (Cawan)
- Compression mechine*

Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Ayakan Agregat Halus

Tabel 1. Hasil Analisa Saringan Pasir Tempur

Diameter saringan	Sisa diatas saringan				Jumlah sisa kumulatif (%)	Jumlah yang lolos (%)
	Saringan 1 (gram)	Saringan 2 (gram)	Rata-rata			
			(gram)	(%)		
9,52	10	15	12,5	1,26	1,26	98,74
4,76	115,5	82,5	99	10	11,26	88,73
2,36	239	191,5	215,25	21,8	33,03	66,97
1,18	285	260	272,5	27,5	60,58	39,42
0,6	196,5	210,5	203,5	20,6	81,15	18,85
0,25	114	163,5	138,75	14	95,17	4,82
0,15	21	36,5	28,75	2,91	98,08	1,92
0,074	11	20	15,5	1,57	99,65	0,35
0	2	5	3,5	0,35	100	0
Jumlah	994	984,5	989,25			

Sumber : Hasil Analisis data Penelitian, 2016

Dari dua kali percobaan pada tabel 2, yang mendapatkan persentase tertinggi adalah tersaringan 1,18 mm dengan hasil 27,5%.

Dengan modulus kehalusan butir (FM) :

$$\frac{98,08 + 95,17 + 81,15 + 60,58 + 33,03 + 11,26 + 1,26}{100}$$

$$= \frac{380}{100} = 3,8$$

dengan hasil FM 3,8 dapat di kategorikan agregat bergradasi kasar.

a. Kandungan Lumpur dan Kotoran Organik Pasir Tempur

1) Sistem Kocokan

Pasir tempur sebelum di cuci, kandungan lumpur masih sangat banyak, mencapai 18cc, maka presentasinya adalah :

$$\frac{18}{130} \times 100\% = 13,8\%$$

Sementara kotoran organisnya masih 12cc dengan presentase :

$$\frac{12}{130} \times 100\% = 9,2\%$$

2) Sistem Pencucian

Pada percobaan pertama dan kedua, pasir di cuci sebanyak 20 kali, didapatkan rata-rata kandungan lumpur pada kedua gelas adalah 12 gram, maka presentasinya adalah :

$$\frac{12}{100} \times 100\% = 12\%$$

b. Kandungan Kimia *fly ash*

Pada sample Fly ash yang diambil dari PLTU Tanjung jati B bunker unit 3 & 4 dengan berdasar pada sertifikat laboratorium Sucofindo No.17733/EOBOAI, tertanggal 2 Desember 2015.

Tabel 2. Kandungan *fly ash*

No	Parameter	Unit	Test Result	Test Method	
1	SiO ₂	% wt	46,70	ASTMD4325_11	
2	Al ₂ O ₂	% wt	25,01		
3	Fe ₂ O ₂	% wt	9,43		
4	TiO ₂	% wt	0,98		
5	CaO	% wt	6,26		
6	MgO	% wt	3,65		
7	K ₂ O	% wt	2,19		
8	Na ₂ O	% wt	2,96		
9	SO ₃	% wt	0,81		
10	MnO ₂	% wt	0,07		
11	P ₂ O ₅	% wt	0,41		
12	Moisture Content	% wt	Nd	PO-MOM-02	
13	LOI	% wt	1,05	PO-MOM-03	
14	Oil Content	% wt	0,05	Destilation Gravimeiric	
15	Unburned Carbon	% wt	0,65	Infrared Absorptiometric Method (used by HORIBAEMIA-S20V)	
Test Size		Unit	On	Pass	Manual/ASTM
Mesh No. 100 (0,149 mm)		% wt	2,45	97,55	
Mesh No. 200 (0,074 mm)		% wt	6,69	93,31	
Mesh No. 325 (0.044 mm)		% wt	13,38	86,62	

Sumber: Hasil pegujian oleh PLTU Tanjung Jati B Jepara

Data pada tabel 3 diambil dari pengujian *fly ash* di PLTU Tanjung Jati B Kabupaten Jepara. Menginformasikan bahwa parameter kandungan kimia yang terbesar yaitu SiO₂ sebesar 46,7%, Al₂O₂

sebesar 25,01%, Fe_2O_3 sebesar 9,43% dan CaO sebesar 6,26%. Termasuk *fly ash* kelas F.

c. Mix Design Mortar Beton

Dalam pelaksanaan pencampuran material sampai menjadi mortar beton dengan komposisi yang direncanakan didapat hasil mortar dengan pengujian kuat tekan sebagai berikut :

Umur (hari)	Berat (gram)	Berat isi (gram/cm ³)	Kuat tekan (KN)	Kokoh tekan (Mpa)
3	246	1,968	12	4,8
3	237	1,896	12,5	5
3	236	1,888	12,5	5
7	253,5	2,028	15	6
7	253	2,024	10	4
7	25,5	0,204	15	6
14	243	1,944	20	8
14	244	1,952	17	6,8
14	232	1,856	17,5	7
28	242	1,936	9,5	3,8
28	267,5	2,14	28	11,2
28	250	2	26	10,4

Sumber : Hasil Analisis data Penelitian, 2016

Pada hasil pengujian di tabel 4 menginformasikan pencampuran mortar semen sebesar 90% dengan *fly ash* 10% kokoh tekan range yang didapat antara 4 sampai 10 Mpa, dengan umur pengujian 3,7,14 & 28 hari.

Umur (hari)	Berat (gram)	Berat isi (gram/cm ³)	Kuat tekan (KN)	Kokoh tekan (Mpa)
3	247	1,976	23	9,2
3	223,5	1,788	19	7,6
3	242	1,936	19	7,6
7	241	1,928	17,5	7
7	248,5	1,988	27,5	11
7	252	2,016	19	7,6
14	238,5	1,908	16,5	6,6
14	241	1,928	30	12
14	267,5	2,14	20	8
28	244	1,952	22,5	9
28	265,5	2,124	20	8
28	247,5	1,98	25	10

Sumber : Hasil Analisis data Penelitian, 2016

Pada tabel 5 menginformasikan data pencampuran mortar semen 80% dengan *fly ash* 20% mendapatkan hasil kuat tekan range 7 sampai 12 Mpa. Dengan mengalami perlakuan pengujian beban pada umur 3,7,14 & 28 hari.

Tabel 6. Mix Semen 70% + *fly ash* 30%

Umur (hari)	Berat (gram)	Berat isi (gram/cm ³)	Kuat tekan (KN)	Kokoh tekan (Mpa)
3	246	1,968	13	5,2
3	247,5	1,98	22	8,8
3	243	1,944	21	8,4
7	241,5	1,932	16	6,4
7	257	2,056	25	10
7	268	2,144	24,5	9,8
14	271	2,168	22,5	9
14	259	2,072	23	9,2
14	253,5	2,028	22	8,8
28	261,5	2,092	19	7,6
28	250	2	18	7,2
28	263	2,104	31	12,4

Sumber : Hasil Analisis data Penelitian, 2016

Pada tabel 6 menginformasikan data pencampuran mortar semen 70% dengan *fly ash* 30% mendapatkan hasil kuat tekan range 7 sampai 12 Mpa. Dengan mengalami perlakuan pengujian beban pada umur 3,7,14 & 28 hari.

Tabel 7. Mix Semen 60% + *fly ash* 40%

Umur (hari)	Berat (gram)	Berat isi (gram/cm ³)	Kuat tekan (KN)	Kokoh tekan (Mpa)
3	243	1,944	10	4
3	242	1,936	13,5	5,4
3	247,4	1,9792	14	5,6
7	259,5	2,076	20	8
7	251,5	2,012	15	6
7	264,5	2,116	15	6
14	247,5	1,98	19,5	7,8
14	266,5	2,132	15	6
14	255,5	2,044	18	7,2
28	263	2,104	21,5	8,6
28	250	2	18	7,2
28	262,5	2,1	19	7,6

Sumber : Hasil Analisis data Penelitian, 2016

Pada tabel 7 menginformasikan data pencampuran mortar semen 60% dengan *fly ash* 40% mendapatkan hasil kuat tekan range 4 sampai 8 Mpa. Dengan perlakuan pengujian beban pada umur 3,7,14 & 28 hari. Pada mix design ini mengilustrasikan bahwa campuran tersebut mengalami penurunan kuat tekan.

Tabel 8. Mix Semen 50% + fly ash 50%

Umur (hari)	Berat (gram)	Berat isi (gram/cm ³)	Kuat tekan (KN)	Kokoh tekan (Mpa)
3	256	2,048	9	3,6
3	264,5	2,116	7,5	3
3	256,5	2,052	7,5	3
7	261,5	2,092	11	4,4
7	254,5	2,036	9	3,6
7	274	2,192	14,5	5,8
14	249,5	1,996	14	5,6
14	258	2,064	16	6,4
14	273,5	2,188	15	6
28	255,5	2,044	13,5	5,4
28	262,5	2,1	17	6,8
28	273	2,184	17,5	7

Sumber : Hasil Analisis data Penelitian, 2016

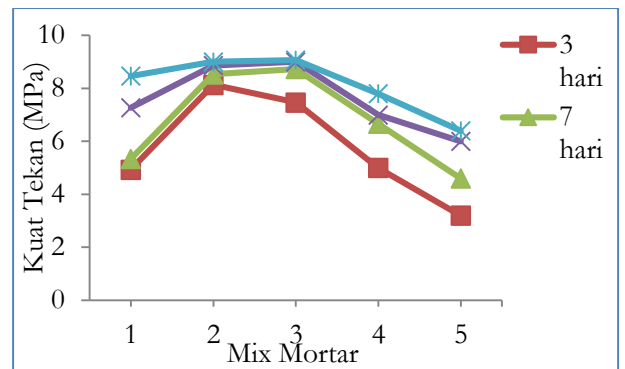
Pada tabel 8 menginformasikan data pencampuran mortar semen 50% dengan fly ash 50% mendapatkan hasil kuat tekan range 3 MPa sampai 7 Mpa. Dengan perlakuan pengujian beban pada umur 3,7,14 & 28 hari. Pada mix design ini mengilustrasikan bahwa campuran tersebut mengalami penurunan kuat tekan yang cukup signifikan dari mix design sebelumnya.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Kokoh Tekan

Umur Mortar (hari)	Kuat Tekan (MPa)				
	PC 90% FA 10%	PC 80% FA 20%	PC 70% FA 30%	PC 60% FA 40%	PC 50% FA 50%
3	4,93	8,13	7,47	5,00	3,20
7	5,33	8,53	8,73	6,67	4,60
14	7,27	8,87	9,00	7,00	6,00
28	8,47	9,00	9,07	7,80	6,40
Rata-rata	6,50	8,63	8,57	6,62	5,05

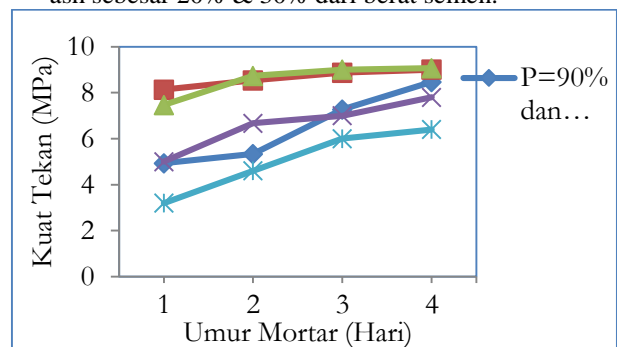
Sumber : Hasil Analisis data Penelitian, 2016

Pada tabel 9 didapat rekapitulasi hasil kokoh tekan yang terurai mix design dari kadar fly ash 10% sampai 50% dengan semen. Didapat kuat tekan mortar rata-rata yang tertinggi pada campuran semen 80% dengan fly ash 20% sebesar 8,63 MPa dan campuran semen 70% dengan fly ash 30% sebesar 8,57 MPa. Sedangkan yang memiliki kuat tekan terendah pada campuran semen 50% dengan fly ash 50% sebesar 5,05 MPa.



Gambar 2. Kuat Tekan Terhadap Mix Mortar

Pada gambar 2 mengilustrasikan hasil grafik kokoh tekan terhadap sample mortar dengan variasi umur beton mortar. Didapatkan kuat tekan tertinggi pada sample no 2 & 3 yang memiliki campuran fly ash sebesar 20% & 30% dari berat semen.



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Terhadap Umur Mortar

Pada grafik yang terlihat di gambar 3 menggambarkan kondisi kokoh tekan terhadap umur mortar dengan variasi pada mix design mortar. Mengilustrasikan bahwa semakin lama waktu pengikatan beton akan semakin meningkat kuat tekan nya.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil analisis saringan agregat pasir tempur masuk dalam kategori pasir yang sangat kasar dengan Modulus Kehalusan Butir (FM) sebesar 3,805
2. Berdasarkan hasil analisis kandungan lumpur dan kotoran organik pasir tempur dengan sistem kocokan dapat diperoleh:
 - a. Dalam keadaan asli dilapangan didapat kandungan lumpur sebesar 13,8 % dengan kotoran organik sebesar 9,2 %
 - b. Setelah dilakukan pencucian sebanyak enam kali didapat kandungan lumpur sebesar 11,5 % dengan kotoran organik sebesar 3,8 %
3. Berdasarkan hasil analisis kandungan lumpur dan kotoran organik pasir tempur dengan sistem cucian dapat diperoleh:

- a. Pada percobaan pertama didapat hasil kandungan lumpur sebesar 12%
 - b. Setelah dilakukan pencucian sebanyak enam kali diperoleh kandungan lumpur sebanyak 3,25 %
4. Semakin lama umur beton mortar maka semakin tinggi kuat tekannya.
 5. Prosentase fly ash dari PLTU Tanjung Jati B Jepara yang paling menghasilkan kuat tekan beton mortar tertinggi adalah antara 20% - 30%.
 6. Prosentasi fly ash >30% berturut-turut menghasilkan kuat tekan lebih rendah.
- ## 5. DAFTAR PUSTAKA
- Amir, F. (n.d.). Pengujian Mortar Mutu Tinggi Sebagai Bahan Perkuatan.
- Ash, F. (2007). Analisa penggunaan fly ash sebagai material dasar pengganti cetakan pasir pada pengecoran besi cor ditinjau dari komposisi campuran cetakan, 9, 10–14.
- Ash, F., Pabrik, P. T., & Tjiwi, K. (n.d.). METODOLOGI PENELITIAN Bahan Alat Cara kerja: Tahap persiapan Pengujian serta Analisis Uji Perlindian Paving Block R = Xt . W, 32–35.
- Ater, W. I. T. H. W., Atio, E. R., Maskur, I., Satyarno, I., & Siswanto, M. F. (2017). PERANCANGAN CAMPURAN FLOW MORTAR UNTUK PEMBUATAN SELF-COMPACTING CONCRETE DENGAN FAS 0.5, 13(2), 89–96.
- Bedadi, L., & Bentebba, M. T. (2017). Characteristics of Sand of the Oueds in the Region of Oued Righ (Oued N'SA, Oued M'ZAB and Oued Rtem) in the Making of Concrete in the Arid Regions. *Energy Procedia*, 119, 733–741. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.135>
- Burlion, N., Pijaudier-cabot, G., Dahan, N., Burlion, N., Pijaudier-cabot, G., & Dahan, N. (2017). Experimental analysis of compaction of concrete and mortar To cite this version: HAL Id: hal-01006829.
- Chandra, L., Widodo, T. H., Hardjito, D., & Porong, K. (2012). Pengaplikasian Lumpur Sidoarjo Kadar Tinggi pada Mortar dan Beton. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 1, 1–7.
- Ghrichi, M., Kenai, S., & Said-Mansour, M. (2007). Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements. *Cement and Concrete Composites*, 29(7), 542–549. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.04.009>
- Khoiroh, U., Siswosukarto, S., & Supriadi, B. (2009). Perilaku Lentur Panel Beton Semi-Precast pada Daerah Lapangan Tanpa Metode Perkuatan Elemen Pracetak: Tinjauan pada 1, 2 dan 3 Panel, 12(2), 109–122.
- Lomboan, F. O., Kumaat, E. J., & Windah, R. S. (2016). Pengujian Kuat Tekan Mortar Dan Beton Ringan Dengan Menggunakan Agregat Ringan Batu Apung Dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen, 4(4), 271–278.
- Matarul, J., Mannan, M. A., Safawi, M. Z. M. I., Ibrahim, A., Jainudin, N. A., & Yusuh, N. A. (2016). Performance-based Durability Indicators of Different Concrete Grades Made by the Local Ready Mixed Company: Preliminary Results. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 224(August 2015), 620–625. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.452>
- Multazam, K. A., & Saelan, P. (2014). Studi Mengenai Perancangan Komposisi Bahan dalam Campuran Mortar untuk Pembuatan Bata Beton (Paving Block), (x), 1–12.
- Pangestu, M., Sim, A. M., Hardjito, D., Admixtures, V. M., & Razak, A. (2014). Pengaruh Penggunaan Kombinasi Viscosity Modifying Admixtures Dan Superplasticizer Terhadap Rheologi Mortar Dan Beton Self Compacting Concrete, 2–9.
- Siddique, R., & Klaus, J. (2009). Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. *Applied Clay Science*, 43(3–4), 392–400. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.11.007>
- Strength, H., Containing, C., Superplasticizer, A., Ash, A. F., & Sni, S.-. (2010). Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah Superplasticizer dan Fly Ash, 13(2), 171–180.
- Tsivilis, S., Batis, G., Chaniotakis, E., Grigoriadis, G., & Theodossis, D. (2000). Properties and behavior of limestone cement concrete and mortar. *Cement and Concrete Research*, 30(10), 1679–1683. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00372-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00372-0)
- Villain, G., Thiery, M., & Platret, G. (2007). Measurement methods of carbonation profiles in concrete: Thermogravimetry, chemical analysis and gammadensimetry. *Cement and Concrete Research*, 37(8), 1182–1192. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.04.015>
- Wallevick, J. E. (2003). Rheology of particle suspension: fresh concrete, mortar and cement paste with various types of lignosulfates, (3374), 1–397.